

**PERANCANGAN *HARDWARE* KENDALI MOTOR  
BLDC UNTUK Pengereman REGENERATIF**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA  
SEMARANG  
2020**

## HALAMAN PENGESAHAN



Judul Tugas Akhir: : Perancangan Hardware Kendali Motor BLDC Untuk Pengereman Regeneratif

Diajukan oleh : Zafnat Paneah El Dwiyanto

NIM : 15.F1.0005

Tanggal disetujui : 20 Juli 2020

Telah setuju oleh

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi M.T.

Penguji 1 : Dr. Ir. Florentinus Budi Setiawan M.T.

Penguji 2 : Dr. Leonardus Heru Pratomo S.T., M.T.

Penguji 3 : Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi M.T.

Ketua Program Studi : Dr. Leonardus Heru Pratomo S.T., M.T.

Dekan : Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi M.T.

Halaman ini merupakan halaman yang sah dan dapat diverifikasi melalui alamat di bawah ini.

[sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=15.F1.0005](http://sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=15.F1.0005)

**PERNYATAAN**  
**KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)**

Memperhatikan Surat Keputusan Rektor Universitas Katolik Soegijapranata Nomor.:0047/SK.Rek/X/2013 tanggal 07 Oktober 2013, tentang Pernyataan Laporan Tugas Akhir, maka bersama ini Laporan Tugas Akhir Saya yang berjudul *“PERANCANGAN HARDWARE KENDALI MOTOR BLDC UNTUK PENEREMAN REGENERATIF”*, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Tugas Akhir ini sebagian atau seluruhnya merupakan hasil plagiasi, maka saya rela untuk dibatalkan, dengan segala akibat hukumnya sesuai peraturan yang berlaku pada Universitas Katolik Soegijapranata dan / atau peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 20 Juli 2020

Yang menyatakan,

METERAI  
TEMPEL

A1A75AHF388767781

5000  
ENAM RIBURUPIAH

ZAFNAT PANEAH EL DWIYANDO

NIM. 15.F1.0005

## ABSTRAK

Kendaraan listrik semakin dibutuhkan di bidang transportasi terbaru. Kendaraan listrik merupakan transportasi yang ramah lingkungan dan hemat dalam penggunaannya. Kendaraan listrik memiliki jarak tempuh yang jauh dibandingkan kendaraan berbahan bakar fosil dengan pengereman regeneratif. Pengereman regeneratif diterapkan pada kendaraan listrik untuk meningkatkan efektifitas dari kendaraan listrik. Sehingga kendaraan listrik memiliki jarak tempuh yang semakin jauh dan hemat dalam penggunaan dan perawatannya. [1], [2].

Kendaraan listrik dalam menerapkan pengereman regeneratif membutuhkan *hardware* yang dapat mengendalikannya, sehingga kendaraan listrik menjadi lebih efisien pada saat melakukan pengereman regeneratif. *Hardware* yang diperlukan untuk mengontrol pengereman regeneratif pada kendaraan listrik antara lain inverter tiga fasa yang berfungsi untuk konverter mengendalikan motor dari kendaraan listrik, driver mosfet, mikrokontroler dan perangkat pendukung lainnya. Motor modern yang digunakan adalah motor *Brushless Direct Current* (BLDC). Motor BLDC memiliki banyak keunggulan, diantaranya adalah kecepatan yang tinggi, torka yang tinggi saat kecepatan rendah, tidak ada lilitan pada stator sehingga menyebabkan pembuangan panas yang optimal, tidak memakai sikat sehingga memiliki umur yang panjang, efisiensi yang tinggi, dapat digunakan di ruangan vakum [3]–[5].

. Pada Tugas Akhir ini Penulis merancang *hardware* dengan komponen elektronika sederhana, antara lain Inverter tiga fasa yang berfungsi sebagai



konverter pengendali motor BLDC. Inverter tiga fasa yang digunakan yaitu IGBT. Dalam menjalankan IGBT diperlukan driver TLP 250 dan Buffer IC 74HC541N. IGBT dijalankan sesuai perintah mikrokontroler dsPic30F4012, sehingga motor BLDC dapat melakukan pengereman regeneratif. Pengereman regeneratif diatur dengan pengaturan siklus kerja. Sensor arus LEM HX-10P terpasang pada perangkat keras ini untuk mengukur arus yang dapat masuk ke batere.

**Kata Kunci : Pengereman Regeneratif, Siklus Kerja, Motor *Brushless Direct Current*, Hardware**



## **HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zafnat Paneah El Dwiyanto

Program Studi : Teknik Elektro

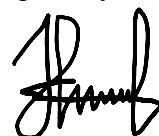
Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Penelitian

Menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Katolik Soegijapranata Semarang Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah yang berjudul “PERANCANGAN *HARDWARE* KENDALI MOTOR BLDC UNTUK PENGGEREMAN REGENERATIF” beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Katolik Soegijapranata berhak menyimpan, mengalihkan media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir ini selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Semarang, 20 Juli 2020  
Yang Menyatakan



**Zafnat Paneah El Dwiyanto**

## KATA PENGANTAR

Rasa puja dan puji syukur penulis panjatkan terhadap kehadiran Allah SWT, berkat rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi yang berjudul **PERANCANGAN *HARDWARE* KENDALI MOTOR BLDC UNTUK PENEREMAN REGENERATIF** ini di susun untuk memenuhi persyaratan kurikulum sarjana strata-1 (S-1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

Penulis memberi ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan yang diberikan, baik bantuan secara langsung maupun bantuan secara tidak langsung selama proses penyusunan tugas akhir ini. Secara khusus ucapan terimakasih saya berikan kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan rahmat dan karunianya, kemudahan dan kelancaran dalam proses pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan laporan akhir.
2. Kedua Orang tua yang tidak kenal lelah memberikan semangat dan memberikan dukungan secara moril maupun secara materil kepada penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Ign. Slamet Riyadi, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.
4. Bapak Dr. Leonardus Heru Pratomo, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro dan sekaligus dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah bersedia membimbing dari awal hingga akhir dalam pelaksanaan Tugas Akhir.

Dan yang telah memberikan ijin dan menyediakan fasilitas untuk penggunaan laboratorium yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

5. Bapak Dr. Florentinus Budi Setiawan, MT., IPM. Selaku dosen Program Studi Teknik Elektro, yang telah memberikan semangat dan memberikan dukungan kepada penulis.
6. Bapak Antonius Juang yang telah purna tugas selaku Tata Usaha yang telah membantu administrasi dan informasi yang diperlukan saat masa perkuliahan.
7. Seluruh Dosen dan Karyawan Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata.
8. Yoshua Oktavianis Herendra sebagai rekan kerja praktek sekaligus rekan satu kelompok yang telah banyak membantu secara moril maupun secara materil dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Keluarga besar Wanacaraka yang telah menjadi teman berdiskusi dan memberikan pelajaran akademis dan non akademis selama berada di Semarang.
10. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2015 yang telah menjadi teman seperjuangan melewati masa-masa perkuliahan.

Semarang, 20 Juli 2020



**Zafnat Paneah El Dwiyanto**



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)	iii
ABSTRAK	iv
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Pembatasan Masalah	2
1.4. Tujuan dan Manfaat	3
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	6
2.1. Pendahuluan	6
2.2. Motor BLDC	6
2.3. Inverter Tiga Fasa	9
2.4. Modul IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)	10

2.5.	Mikrokontroller	11
2.6.	IC Optocoupler	12
2.7.	IC Buffer	13
2.8.	Catudaya	14
2.9.	Sensor Arus	16
BAB III IMPLEMENTASI <i>HARDWARE</i> MOTOR BLDC UNTUK PENEREMAN REGENERATIF		17
3.1.	Pendahuluan	17
3.2.	Motor BLDC	18
3.3.	Prinsip Kerja Pengereman Regeneratif Motor BLDC	22
3.4.	Rangkaian Inverter Tiga Fasa IGBT	25
3.5.	Rangkaian <i>Driver</i> Tlp 250 Dan <i>Buffer</i> 74HC541N	27
3.6.	Catu daya B1212 dan B1205 <i>Isolated</i>	29
3.7.	Blok Kendali	29
3.8.	Rangkaian Sensor Arus LEM HX – 10P	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		34
4.1.	Pendahuluan	34
4.2.	Hasil Pengujian Alat	35
BAB V PENUTUP		48
5.1.	Kesimpulan	48
5.2.	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar-2.1. Konstruksi motor Brushless Direct Current	7
Gambar-2.2. Rangkaian Ekvivalen Stator Motor BLDC	8
Gambar-2.3. Kurva Karakteristik Torka dan Kecepatan Motor BLDC	8
Gambar-2.4. Rangkaian inverter tiga fasa	9
Gambar-2.5. Modul IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) tipe CPV364M4F	10
Gambar-2.6. Konfigurasi pin Mikrokontroler dsPIC30f4012	11
Gambar-2.7. Konfigurasi IC Optocoupler	12
Gambar-2.8. Salah satu jenis IC buffer	13
Gambar-2.9. Skema rangkaian catu daya (a) B1212S dan (b) B1205S	15
Gambar-2.10. Konfigurasi pin pada Sensor arus	16
Gambar-3. 1. Skema Sistem Kendali Motor BLDC	17
Gambar-3. 2. Konfigurasi kutub magnet pada rotor motor BLDC	19
Gambar-3. 3. Hubungan antara fasa bentuk bintang pada motor BLDC	20
Gambar-3.4. Rangkaian BEMF detektor yang tersambung pada motor BLDC	22
Gambar-3. 5. Rangkaian boost konverter saklar off (a) dan	23
Gambar-3. 6. Aliran arus saat pengereman regeneratif	24
Gambar-3. 7. Pensaklaran pada saat pengereman	25
Gambar-3. 8. Rangkaian Modul IGBT yang Terpasang pada Motor BLDC	26
Gambar-3. 9. Hubungan antara tiap saklar konverter dengan EMF balik dan hall-effect	27

Gambar-3. 10. Rangkaian buffer IC 74HC541N dan enam buah TLP 250	28
Gambar-3. 11. Rangkaian Catudaya B1205s dan B1212s	29
Gambar-3. 12. Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler dsPic30F4012	30
Gambar-3. 13 Flow chart pemograman kendali pengereman regeneratif	31
Gambar-3. 14. Skema rangkaian sensor arus	32
Gambar-4. 1. Prototipe keseluruhan alat tugas akhir	35
Gambar-4. 2. Hall-effect satu pada Motor (a) Hall-effect dua pada Motor (b) Hall-effect tiga pada Motor (c) - (probe x1, skala 1.00ms/div, CH1 5V/div, RefA 5V/div, CH2 5V/div)	36
Gambar-4. 3. Hall-effect satu pada Motor (a) Tegangan pada antar fasa A-B (b) - (probe x1, skala 2.00ms/div, CH1 10V/div)	37
Gambar-4. 4. Sudut pensaklaran pada $S_2$ pada $30^\circ - 150^\circ$ elektrik (a) EMF balik pada tiap fasa (b) - (probe x1, skala 1.00ms/div, CH1 5V/div, RefA 5V/div, RefB 5V/div, CH2 5V/div)	38
Gambar-4. 5. Sudut pensaklaran pada $S_4$ pada $150^\circ - 270^\circ$ elektrik (a) EMF balik pada tiap fasa (b) - (probe x1, skala 1.00ms/div, CH1 5V/div, RefA 5V/div, RefB 5V/div, CH2 5V/div)	39
Gambar-4. 6. Sudut pensaklaran pada $S_6$ pada $270^\circ - 30^\circ$ elektrik (a) EMF balik pada tiap fasa (b) - (probe x1, skala 1.00ms/div, CH1 5V/div, RefA 5V/div, RefB 5V/div, CH2 5V/div)	39
Gambar-4. 7 Hasil Pengukuran Kecepatan menggunakan tachometer digital yang menunjukkan hasil kecepatan 2182 RPM	40
Gambar-4. 8 Hasil Pengukuran Kecepatan menggunakan tachometer digital yang menunjukkan hasil kecepatan 2182 RPM	41
Gambar-4. 9 Pensaklaran pada duty cycle 0.3 (a) Pensaklaran pada duty cycle 0.5 (b) Pensaklaran pada duty cycle 0.8 (c) EMF balik pada fasa A (d) - (probe x1, skala 500 $\mu$ s/div, CH1 5V/div, RefA 5V/div, RefB 5V/div, CH2 5V/div)	41
Gambar-4. 10. Tegangan BEMF Pensaklaran pada duty cycle 0.3 (a) Arus Pensaklaran pada duty cycle 0.3 (b) - (probe x1, skala	

1.00ms/div, CH1 5V/div, RefA 5V/div, RefB 5V/div, CH2 5V/div)	42
Gambar-4. 11. Pengukuran Kecepatan menggunakan tachometer digital yang menunjukkan hasil kecepatan 2141 RPM	43
Gambar-4. 12. Tegangan BEMF pada duty cycle 0.5 (a) Arus pada duty cycle 0.5 (b) - (probe x1, skala 1.00ms/div, CH1 5V/div, RefA 5V/div, RefB 5V/div, CH2 5V/div)	43
Gambar-4. 13 Hasil Pengukuran Kecepatan menggunakan tachometer digital yang menunjukkan hasil kecepatan 2041 RPM	43
Gambar-4. 14 Tegangan BEMF pada duty cycle 0.8 (a) Arus pada duty cycle 0.8 (b) - (probe x1, skala 1.00ms/div, CH1 5V/div, RefA 5V/div, RefB 5V/div, CH2 5V/div)	44
Gambar-4. 15 Hasil Pengukuran Kecepatan menggunakan tachometer digital yang menunjukkan hasil kecepatan 1708 RPM	44
Gambar-4. 16 Intensitas arus saat pengisian daya ke batere pada Mode Motoring dan Mode Regeneratif Braking - (probe x1, skala 1.00ms/div, CH1 200mV/div)	45
Gambar-4. 17 Intensitas arus saat pengisian daya ke batere pada mode pengereman - (probe x1, skala 1.00ms/div, CH1 200mV/div)	46



## DAFTAR TABEL

Tabel-2. 1. Spesifikasi IC buffer 74HC541N	14
Tabel-2.2. Spesifikasi DC-DC Isolated B1212s & B1205s	15
Tabel-3. 1. Spesifikasi motor BLDC yang dipakai	18
Tabel-3. 2. Hasil pembacaan logika sensor hall-effect dan pensaklaran	21
Tabel-4. 1. Hasil pengujian pengaturan siklus kerja pada konverter	47

